

**УДК 615.477.21**

**Василь Дозорський, к.т.н., доцент, Леонід Дедів, к.т.н., доцент**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ БІОПРОТЕЗУВАННЯ**

Проведено обґрунтування способу математичного моделювання електроміографічних сигналів у вигляді випадкового процесу з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу.

Ключові слова: електроміографічний сигнал, математична модель, біопротез

**Vasil Dozorskyi, Leonid Dediw**

## **MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS FOR THE PROBLEM OF BIOPROSTHESIS**

The method of mathematical modeling of electromyographic signals in the form of a random process with periodic probabilistic characteristics, in particular as an additive-multiplicative mixture of deterministic function and a stationary random process, is substantiated.

Key words: electromyographic signal, mathematical model, bioprosthesis

Актуальність задачі протезування визначається зростанням кількості людей із пошкодженими або втраченими функціями окремих частин тіла. При цьому, протезування стає важливим етапом процесу соціально-трудової реабілітації людей із втраченими або незворотно пошкодженими кінцівками чи іншими складовими частинами опорно-рухового апарату. Так, 50% від загальної кількості випадків протезування припадають на протезування після ампутування верхньої кінцівки на рівні передпліччя. Наслідком таких ампутацій стає, насамперед, обмеження можливості самообслуговування та можливості займатися трудовою діяльністю. Тому, задача компенсації максимально можливої кількості втрачених функцій верхніх кінцівок шляхом протезування є актуальною для медицини.

Проведено аналіз та класифікацію типів протезів верхніх кінцівок і встановлено, що їх можна розділити на два класи: пасивні та активні. Протези першої групи в основному лише естетично відновлюють зовнішність кінцівок (косметичні протези) та деякі їхні функції (тягові протези). Більш функціональними є протези активної групи, зокрема біокеровані (біонічні) протези. Принцип їхньої роботи ґрунтується на формуванні керуючих сигналів шляхом відбору та опрацювання нервових імпульсів, що відображають команди центральної нервової системи, які вона надсилає до відповідних м'язів, провокуючи їх скорочення чи розслаблення. Таким чином, в біопротезі руки роль командних сигналів виконують нервові імпульси, що відводяться від усічених м'язів кукси (частини кінцівки, що залишилася після ампутації), а механізмом, який виконує визначені команди, є штучна кисть, яка оснащена блоком опрацювання та декодування відібраних біосигналів, групою мініатюрних приводів, які імітують рухи складових частин кисті, та автономним живленням. При цьому, проведений аналіз різних типів біопротезів, що є присутні на медичному ринку, показав, що кількість рухів, які можуть бути повторені біопротезом, є обмеженою і зазвичай не перевищує 17. Це значно обмежує можливості людей, які потребують протезування. Розширення кількості рухів (наприклад, рухи окремих пальців) є можливим у випадку відбору та належного опрацювання біосигналів, зокрема

електроміографічних (ЕМГ), зареєстрованих із усічених м'язів кукси, та наступної диференціації сигналів, що відповідають за забезпечення рухів, які повинні були б виконуватись у випадку збереженої кисті руки. Маючи такі диференційовані сигнали можна забезпечити відповідні рухи біопротеза. Також основним недоліком існуючих протезів є відсутність системи контролю сили захвату (робота виконавчого механізму вимагає безперервного зорового контролю за виконуваною дією). Тому, актуальним є завдання розроблення способів узгодження апаратної частини протезу із залишковими можливостями ділянки кінцівки, що підлягає протезуванню, з метою максимально повної компенсації втрачених функцій цієї кінцівки.

Як зазначалось вище, це можна зробити шляхом відбору та опрацювання залишкових сигналів електричної активності м'язів втраченої кінцівки з метою виділення ознак скорочень таких м'язів і формування сигналів керування відповідними приводами протеза. Для цього необхідно обґрунтувати методи такого опрацювання, які визначалися б адекватною математичною моделлю таких сигналів та поставленою задачею.

Шляхом аналізу структури експериментально відібраних з передпліччя ЕМГ сигналів при виконанні рухів окремих пальців кисті руки встановлено, що адекватна фізичній природі таких сигналів математична модель повинна враховувати коливну структуру цих сигналів, а адекватна поставленій задачі ідентифікації окремих рухів м'язів математична модель повинна враховувати випадкову складову ЕМГ сигналів та мати засоби оцінювання змін у часово-фазовій структурі цих сигналів.

Проведено аналіз відомих математичних моделей та методів опрацювання ЕМГ сигналів. Використання детерміністського підходу до задачі математичного моделювання ЕМГ сигналів не є коректним, оскільки сигнал характеризується значною варіативністю, неповторністю, що можна адекватно описати лише з використанням стохастичного підходу. Крім цього, необхідно, щоб математична модель враховувала часово-фазову структуру ЕМГ сигналів, оскільки вона є важливою та необхідною для ідентифікації ознак окремих рухів втраченої кисті, бо відображає інформацію про механізм породження ЕМГ сигналів. Модель також повинна описувати часову структуру ЕМГ сигналів.

Таким чином, адекватним фізичній природі ЕМГ сигналів та задачі виявлення ознак окремих рухів втраченої кисті та їхньої наступної ідентифікації є застосування до моделювання таких сигналів випадкових процесів з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу. При цьому стає можливим застосування методів спектрально-кореляційного аналізу з метою виявлення ознак окремих рухів.

#### **Література:**

1. Славущий Я. Л. Физиологические аспекты биоэлектрического управления протезами. – М.: Медицина, 1982. – 289 с.
2. Попадюха Ю.А. Особливості біонічних протезів верхніх кінцівок / Ю.А. Попадюха // Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. – Луцьк : Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2017. – Вип. 25. – С. 26-42.
3. Архипов М.В. Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине / М.В. Архипов, В.Ф. Головин, В.В. Журавлев // Мехатроника, автоматизация, управление. – № 8. – Москва, 2011. – С. 42–50.
4. Методы биомехатроники тренажера руки человека / [А.К. Платонов и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2012. – № 82. – 40 с.